

ANÁLISIS DE LA VIBRACIÓN DEL HILO DURANTE LA HILATURA EN LA CONTINUA DE ANILLOS.

PARTE IV: EXPLICACIÓN DE ALGUNOS FENÓMENOS OBSERVADOS BASADOS EN LA TEORÍA VIBRATORIA.

J. Liu * y M. Raheel **

0.1. Resumen

En base al análisis vibratorio del hilo en el proceso de hilatura descrito en las tres primeras partes de este trabajo, se explican en ésta ciertos fenómenos observados durante la hilatura convencional de anillos. Estos fenómenos incluyen la regularidad de fluctuación de la tensión del hilo durante la oscilación del balancín, la regularidad de la distribución de las roturas del hilo durante la formación completa de una bobina, así como las causadas por la tensión del hilo, y la relación entre la tensión del hilo, el peso del cursor, la velocidad del huso y la rotura de cabos. Como sugerencias se indican el aumento del tamaño de la husada y la velocidad de hilatura.

Palabras clave: Hilatura, continua de anillos, hilo y teoría vibratoria del hilo.

0.2. Summary. VIBRATION ANALYSIS OF YARN IN RING SPINNING PROCESS.

PART IV: EXPLANATION OF SOME OBSERVED PHENOMENA BASED ON VIBRATORY THEORY.

On the basis of spinning yarn vibration analyses presented in Parts I, II and III of this series, in this paper certain observed phenomena associated with ring spinning have been explained. These phenomena include fluctuation regularity of yarn tension during ringrail oscillation, distribution regularity of end breaks during a whole bobbin formation, as well as due to yarn tension, and the relationship between yarn tension, traveller weight, spindle speed, and end breakage. Suggestions are made for increasing package size and spinning speed.

Key words: Spinning, ring spinning, yarns, vibration analyses.

0.3. Résumé. ANALYSE VIBRATION DU FIL DANS LE PROCESSUS DE FILATURE A ANNEAUX CONVENTIONNELLE.

IV PARTIE: EXPLICATION DE QUELQUES PHÉNOMÈNES OBSERVÉS.

A partir des analyses vibratoires du fil dans le processus de filature décrit dans les trois premières parties de ce travail, on explique dans le présente partie, certains phénomènes observés pendant la filature à anneaux conventionnelle. Ces phénomènes incluent la régularité de fluctuation de la rescision du fil pendant l'oscillation de la plate-bande porte-anneaux, la régularité de la distribution des casses de fils pendant la formation complète d'une bobine, de même que celles qui ont été causées para la tension du fil, le poids du curseur, la vitesse de la fusée et la casse de fils. Comme suggestions on indique l'augmentation de la taille du fuseau et la vitesse de filature.

Mots-clés: Filature, anneaux conventionnelle, fils, théorie vibratoire.

* Mr. Jiang Liu. Profesor del Departamento de "Materials Science and Engineering" de la Universidad de Illinois Urbana-Champaign. Illinois 61801, U.S.A.

** Dra. Mastura Raheel, Profesora de la División de "Consumer Sciences" de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. Illinois 61801, U.S.A.

1. INTRODUCCIÓN

El método de hilatura convencional por anillos fue desarrollado con gran éxito en el decenio 1970-80 y aún sigue siendo muy utilizado en el proceso de algodón, estambre, lana (excepto para lanas baratas) y fibras manufacturadas. La continua de hilar de anillos es versátil y puede producir, casi para cualquier aplicación, hilos de buena calidad. Durante el periodo comprendido entre los años 1945 y 1970, se prestó especial atención a la investigación dirigida a la mejora de la eficiencia de la continua de hilar hasta que finalmente, se llegó a la conclusión de que difícilmente se podía avanzar más en este campo⁹⁾. Con la idea de comprender la teoría de la continua de hilar, se han realizado muchos trabajos fundamentales que incluyen la teoría del balón, el efecto del diámetro del anillo, el peso del cursor, el tamaño de la husada, la velocidad del huso, la tensión del hilo y los ciclos de torsión, etc.^{1,2,3,8)}. Pero, a pesar de ello, el efecto de la vibración del hilo no ha sido aún tratado en las publicaciones existentes.

Intentaremos aquí explicar la regularidad de algunos fenómenos observados (y, de otros que se han referido) en la cadena de producción, en base a los análisis vibratorios de hilatura convencional expuestos en las partes 1, 2 y 3 de esta serie de artículos^{5,6,7)}.

2. FLUCTUACIÓN DE LA TENSIÓN DEL HILO DURANTE CADA OSCILACIÓN DEL BALANCÍN Y LA FORMACIÓN COMPLETA DE LA HUSADA

Es bien sabido que la tensión del hilo en la zona de hilatura aumenta cuando disminuye el diámetro del punto de contacto del enrollado^{10,11)}, es decir, que existe una regularidad del ciclo de tensión durante el enrollado, encontrándose la máxima en la parte superior de la bobina. Este fenómeno tiene explicación en base a la teoría vibratoria del hilo.

Tenemos como ejemplo la ecuación de aceleración de la vibración del balón de hilo. Por las Ecuaciones 24 y 27 (2ª parte) sabemos que la amplitud del balón del hilo (considerando solamente la ondulación fundamental) es:

$$A_a = \left(\frac{\pi a_b}{h} \right)^2 \frac{2 R h^2 p_b^2 b^2}{\pi h^2 p_b^2 a_b^2 - \pi^3 b^2 a_b^2} = \frac{2 \pi R b^2 p_b^2}{h^2 p_b^2 - \pi^2 b^2}$$

Sustituyendo

$$P_b = \frac{\pi}{h} \sqrt{\frac{T_b}{\mu}}$$

y

$$b = \sqrt{\frac{T_{bx}}{\mu}}$$

en A_a , obtenemos

$$A_a = \frac{2 \pi R T_b T_{bx}}{\mu h^2 (T_b - T_{bx})} \quad (1)$$

Por tanto, la amplitud de la aceleración A_a es inversamente proporcional al cuadrado de la altura del balón h^2 . Durante cada oscilación del balancín, la altura del balón (h) es mayor al enrollar a mayor diámetro de la bobina; de aquí que A_a sea menor; por el contrario, la altura del balón (h) es menor al enrollar a menor diámetro, y A_a es mayor. Un cambio en la aceleración produciría un cambio en la tensión del hilo. El valor de la distancia de la cresta al seno de la tensión del hilo ($\Delta T_s = T_{s \max} - T_{s \min}$) se ilustra en la Figura 1⁴⁾. Cuando consideramos la formación completa de una bobina, la altura de la bobina h es mayor durante el enrollado en la parte inferior de la misma. Ello hace que A_a sea menor y que también por ello lo sea la amplitud de la fluctuación de la aceleración. Por otro lado, la altura del balón h es menor durante el enrollado en la parte superior de la bobina. Esto hace que A_a sea ma-

yor y que, asimismo, la amplitud d de la fluctuación de la aceleración se vuelva mayor. La Figura 2⁴⁾ ilustra el cambio del valor de la distancia de la cresta al seno de la tensión de hilatura durante la formación completa de una bobina. Resulta, pues, evidente que la fluctuación periódica de la tensión del hilo durante el proceso de hilatura de anillos se debe principalmente a la fluctuación periódica de la aceleración durante la vibración del hilo, aunque el peso de un cursor y el rozamiento con el balancín también afectarán a la tensión media del hilo.

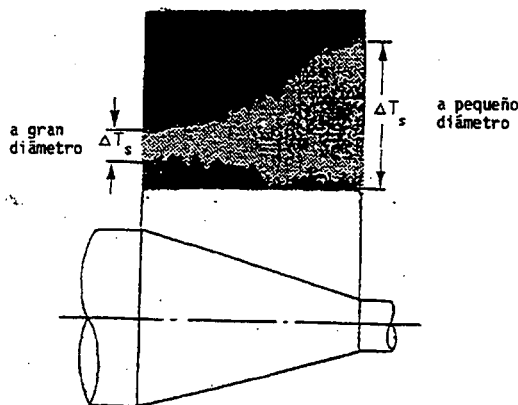


Fig. 1. La fluctuación del valor de la distancia entre la cresta y el seno de la tensión del hilo hasta el guía-hilos durante el enrollado.

(De Li, D. Z. y Shen, R. F., Some Dynamical Characteristics of Yarn Tension During Ring Spinning, J. Text. Res. 1, 15, 1982).

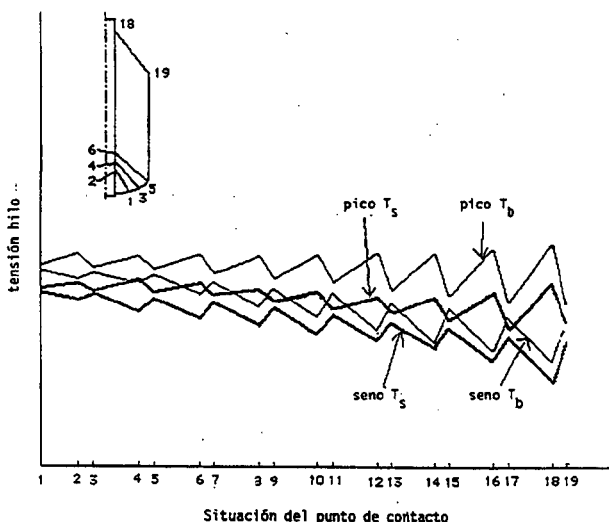


Fig. 2. La fluctuación del valor de la distancia entre la cresta y el seno de la tensión del hilo hasta el guía-hilos durante la construcción total de una bobina.

(De Li, D. Z. y Shen, R. F., Some Dynamical Characteristics of Yarn Tension During Ring Spinning, J. Text. Res. 1, 15, 1982).

3. LA REGULARIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA ROTURA DE CABOS DURANTE LA FORMACIÓN COMPLETA DE UNA BOBINA

Se ha podido observar que durante la formación completa de bobina, la regularidad de la distribución de las roturas de cabos es mayor al enrollar en la parte inferior de la bobina, moderada en la parte superior y muy baja en la parte central¹²⁾. Estas observaciones son explicables por el hecho de que la longitud l del hilo y la altura del balón de hilo h son mayores en el punto inferior del enrollado de una bobina. De acuerdo con:

$$f_{s1} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T_s}{\mu}} \quad y \quad f_{b1} = \frac{1}{2h} \sqrt{\frac{T_b}{\mu}} \quad (2)$$

ya se ha mostrado que f_{s1} y f_{b1} se vuelven menores en esta fase (tablas 1 y 3 de la 3ª parte de esta serie). Por tanto, el área de frecuencia de no-resonancia se vuelve más estrecha y la frecuencia perturbadora determinada por la velocidad del huso, bien en la guía o en el cursor, pueden tener una mayor oportunidad de aproximarse a la primera frecuencia natural del hilo o del balón de hilo y producir resonancia. Así pues, el número de roturas de cabos en el enrollado es mayor en la parte inferior de la bobina. Manteniendo reducidas la altura h del balón de hilo y la longitud l de hilo, f_{s1} y f_{b1} se vuelven poco a poco mayores y se alejan de la frecuencia perturbadora y, por ello, la probabilidad de resonancia se vuelve menor. Por tanto, el número de roturas de cabo se vuelve menor en la parte central durante el enrollado. Sin embargo, el número de roturas de cabo es algo mayor al enrollar en la parte superior de la bobina que en medio, ya que la tensión mínima cuando se enrolla a diámetro pequeño es menor que la tensión mínima al enrollar con un diámetro grande, tal y como se muestra en la Figura 1. Esto se manifiesta de modo especialmente claro al enrollar en la parte superior de la bobina (Figura 2). La fluctuación de la tensión del balón de hilo tiene la misma regularidad. Aunque la disminución de h y l aumenten f_{s1} y f_{b1} , el seno de la tensión T_b y T_s continúan siendo mucho menores y el efecto final es la disminución de f_{b1} y f_{s1} . Esto hace que se aproximen a la frecuencia perturbadora y que sea más pronunciada la probabilidad de resonancia, especialmente al enrollar diámetros pequeños en la corona de la bobina cuando sea menor la tensión del seno. Así pues, f_{b1} y f_{s1} disminuyen considerablemente y las roturas de cabos en la corona de la bobina se manifiestan principalmente al enrollar diámetros pequeños. Este es el fundamento teórico por el que la velocidad del huso debería reducirse al enrollar a pequeño diámetro y aumentar al hacerlo a mayor diámetro durante cada oscilación del balancín.

4. REGULARIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN DE ROTURAS DE CABOS DEBIDA A LA TENSIÓN DEL HILO

Subramaniam et al.¹¹⁾ han realizado profundos estudios sobre la distribución de roturas de cabos durante el enrollado de un cop en la continua. Sus hallazgos indican, que excepcionalmente a altos niveles de tensión, existe una tendencia a que sean frecuentes las roturas del hilo al enrollarse a pequeño diámetro. Por otro lado, a niveles excepcionalmente bajos de tensión, la frecuencia de las roturas de cabos es mayor con enrollados de mayor diámetro. Esto se explica porque la fluctuación de tensión, que se representa en las Figuras 1 y 2 se hace mayor durante la hilatura a alta tensión. El seno de tensión T_{bv} y T_{sv} se vuelve mucho más pequeño, especialmente al enrollar pequeños diámetros, lo que da como resultado un descenso importante de f_1 . Aunque la disminución de h y l en esta fase favorece el aumento de f_1 , el efecto neto es un valor más bajo de f_1 . Por otro lado, en el enrollado de mayores diámetros, aunque un aumento de h y l hace a f_1 más pequeño, la mayor tensión media y un menor cambio de la tensión entre la cresta y el seno ΔT hacen que aumenten el seno de la tensión y f_1 . El efecto neto es un aumento de f_1 . Así pues, las roturas de cabos aparecen con mayor frecuencia en el enrollamiento de pequeños diámetros en la hilatura a alta tensión. Por el contrario, aunque la tensión media sea menor durante la hilatura a baja tensión, la banda de fluctuación de la tensión es más estrecha (Figura 2). La disminución de h y l en el enrollamiento de diámetros pequeños f_1 aumenta, en tanto que la longitud de h y l es mayor en el enrollamiento de grandes diámetros; por tanto, f_1 disminuye considerablemente. Así, las roturas de cabo son más frecuentes en enrollamientos de grandes diámetros durante la hilatura a baja tensión.

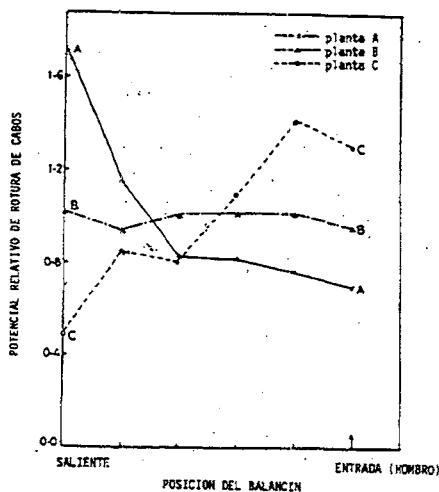


Fig. 3. Potencial relativo de roturas de cabo durante el enrollado a diferentes niveles de tensión de hilo: Planta A = tensión alta; Planta B = tensión normal; Planta C = tensión baja.

(De Sabramanian, T. A., Salhotra, K. R. y Grover, J. M., The Distribution of End Breaks Over the Chase of a Cop-Build Ringframe, Textile Res. J. 44, 791-797, 1974).

5. RELACIÓN ENTRE LA TENSIÓN DEL HILO (PESO DEL CURSOR) Y LA ROTURA DE CABOS

La regularidad que se aprecia en la Figura 4¹³⁾ no ha sido jamás satisfactoriamente explicada. La Figura 4a muestra la regularidad de la rotura de cabos durante los 45 minutos iniciales del enrollado de la bobina. Como puede verse, se producen muchas más roturas de cabos cuando se usa un cursor menos pesado y viceversa. En este punto, la altura del balón h y la longitud l del hilo son más grandes y disminuye la f_1 resultante. Además, la fluctuación de la tensión es menor porque la longitud del hilo es grande (véase Figura 2). La tensión en el hilo depende principalmente de la tensión media que viene determinada por el cursor. Cuanto menos pesado sea el cursor, menor será la tensión del hilo T_b y T_s , siendo menor el valor resultante de f_1 . Estos dos factores aproximan f_1 a la frecuencia perturbadora, de modo que la tasa de roturas de cabos aumenta considerablemente. Las teorías clásicas sobre la hilatura convencional de anillos afirman que la tensión del hilo es mayor durante el enrollamiento en la parte inferior de la bobina y por ello recomiendan la conveniencia de usar un cursor más ligero para que disminuyan las roturas de los cabos y la tensión. Sin embargo, este concepto contradice la regularidad de las roturas de cabos como puede verse en la Figura 4a. La Figura 4b muestra el fenómeno durante el enrollamiento en la corona de la bobina en los 45 últimos minutos del enrollado. En este punto, h y l son más pequeños y aumenta la f_1 resultante. Si se utilizase un cursor pesado, la banda de fluctuación de la tensión se volvería más ancha durante el enrollamiento en la parte superior de la bobina (véase Figura 2), por ello, el seno de la tensión se vuelve mucho menor, de modo tal que el efecto final es una disminución de f_1 , y por ello las roturas de los cabos aumentan rápidamente como se desprende de los datos que se pueden ver en la Figura 4b. Aquí, de nuevo, el concepto tradicional se opone a la regularidad de la rotura de cabos antes mencionada. Por otro lado, la regularidad cambiante de las dos curvas de la Figura 4 es similar a la regularidad cambiante del factor de aumento de R de la Figura 3 (1ª parte de esta serie), es decir que cuanto más se aproxime una frecuencia perturbadora a la primera frecuencia natural del hilo, tanto más rápidamente se inclinará la curva y mayor será la probabilidad de que se produzcan roturas de los hilos.

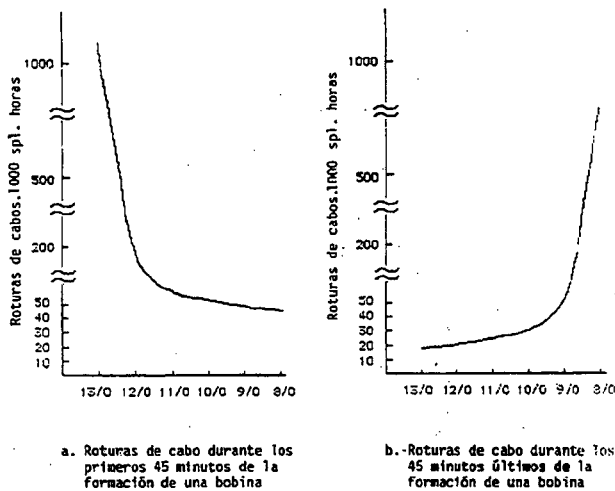


Fig. 4. La relación entre el número de cursor (tensión del hilo) y la rotura de cabos.

(De Tang, Wenhui y Liu, Rongcing, Analysis and Control of End Break on Ring Spinning Frame, Beijing, China, 1986).

6. REGULARIDAD DEL AUMENTO DE ROTURAS CON MAYOR VELOCIDAD DEL HUSO

Sabemos que cuando aumenta la velocidad del huso, la tensión del hilo aumenta. Pero la banda de fluctuación de la tensión se hace más ancha siendo muy pequeña la f_1 resultante. Por otro lado, una frecuencia perturbadora viene determinada por la velocidad del huso, $f \sim n_s/60$, es decir, una frecuencia perturbadora f aumenta cuando así lo hace n_s y la disparidad entre f y f_1 se reduce. En otras palabras, la amplitud del hilo aumenta en tanto que también lo hace la probabilidad de roturas de cabos. Además, debido a la velocidad en aumento del huso, la vibración de éste aumenta por lo que el balón se expande y se separa rápidamente del separador, haciendo que la carrera del cursor sea inestable. La fluctuación de la tensión del hilo aumenta, pues, causando el desplazamiento forzado del hilo en el cursor. La amplitud del hilo resultante aumenta así como también la probabilidad de roturas de cabos.

Al investigar la curva relativa al factor de aumento R que se muestra en la Figura 3 de la 1ª parte ⁵⁾, podemos ver que la velocidad máxima del huso se restringirá drásticamente por la primera frecuencia natural.

$$\frac{n_{s \max}}{60} \angle f_1 \quad \text{ó} \quad n_{s \max} \angle 60 f_1 \quad (3)$$

Este es el límite de la velocidad máxima del huso ya que, de otro modo, las roturas de cabos aumentarían rápidamente.

Además de haberse explicado anteriormente ciertos fenómenos observados, pueden deducirse otras conclusiones del análisis efectuado. Son éstas las siguientes:

1. Utilizando la oscilación del huso en vez de la oscilación del balancín, haremos fijos la altura del balón h y la longitud l del hilo y disminuirémos la banda de fluctuación de las primeras frecuencias naturales del balón de hilo y del hilo que se está produciendo.
2. Una reducción de la altura máxima de la altura del balón h_{\max} hará f_{b1} mayor y disminuirá la probabilidad de roturas de cabos causadas por la resonancia y por el aumento de la velocidad del huso. La altura mínima del balón no debería ser, sin embargo, demasiado pequeña ya que, de otro modo, la fluctuación de la aceleración (Ecuación 1) aumentará y el seno resultante de la tensión hará que f_1 disminuya. Por supuesto, h_{\max} demasiado pequeña o h_{\min} demasiado grande afectarán a la calidad del hilo en la bobina.
3. La longitud l del hilo comprendido entre el triángulo de hilatura hasta el guía-hilos debería reducirse considerablemente. Si f_{s1} fuese mucho mayor que f_{b1} , de la misma manera que si f_{w1} del hilo en el punto de contacto fuese mucho mayor que f_{b1} , la probabilidad de que una frecuencia perturbadora se aproxime a f_{s1} será menor. El problema de la resonancia será más sencillo y f_{b1} será el único factor a controlar. Del mismo modo, disminuirá la probabilidad de resonancia del hilo.
4. La reducción de las irregularidades de la zona de estirado y en la mechera será beneficiosa. Por lo que la masa μ de hilo no-uniforme por longitud disminuirá y f_1 será más estable.
5. En razón de que la fluctuación de la tensión del hilo procede de la aceleración del hilo, no es posible eliminar el desplazamiento forzado periódico de un cursor. Cuando se utilice un anillo giratorio, incluso si un anillo gira con un cursor a una velocidad muy regular, la rotura de cabos no se reducirá significativamente, ya que el cursor todavía estará introduciendo una perturbación periódica al mantener la fluctuación de la tensión del hilo.

7. CONCLUSIONES

1. El hilo comprendido entre el triángulo de hilatura hasta el guía-hilos, el balón del hilo y el punto de enrollado de la bobina vibran siempre durante el proceso de hilatura convencional de anillos. Las ecuaciones de vibración se expresan de forma individual mediante las Ecuaciones 18 de la 1ª parte ⁵⁾, 25 de la 2ª parte ⁶⁾ y 17 de la 3ª parte ⁷⁾. La vibración del hilo es la superposición de una serie de ondas estacionarias y la onda elemental es, entre ellas, la más importante.

2. Cuando una frecuencia perturbadora se aproxima a las primeras frecuencias naturales de f_{s1} y f_{b1} , que siempre es menor, aparecerá una resonancia en todo el hilo con el resultado de que aumentará mucho la probabilidad de que se produzcan roturas de cabos. Las primeras frecuencias naturales pueden calcularse por separado mediante las siguientes fórmulas:

$$f_{s1} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T_s}{\mu}} \quad y \quad f_{b1} = \frac{1}{2h} \sqrt{\frac{T_b}{\mu}} \quad (4)$$

Cuanto menor sea la tensión del hilo, mayor serán la longitud l del hilo hasta el guía-hilos y la altura del balón de hilo h , y mayor será también la probabilidad de que se produzca resonancia en el hilo. La frecuencia perturbadora que puede provocar una resonancia procede principalmente de la guía y del cursor. Su frecuencia circular es la misma que la del cursor girando. Como quiera que la f_{w1} del hilo en el punto de contacto es mucho mayor, no es posible que se produzca una resonancia con una frecuencia perturbadora. Algunas roturas de cabo que se producen en el punto de enrollado son debidas al movimiento irregular de un cursor, tema que no ha sido estudiado en este trabajo.

3. Existe una aceleración lateral alterna en el hilo debida a su vibración que motiva la fluctuación de la tensión del hilo. La fluctuación periódica de la tensión del hilo es una de las razones del cambio periódico en la forma de desplazarse el cursor. La investigación sobre roturas de cabos debería centrarse en la regularidad de movimiento del hilo y no solamente en la tensión del hilo, ya que una alta tensión podría ser el resultado de la resonancia del hilo.
4. Un aumento en la velocidad de los husos en una continua de anillos quedará muy limitado por la primera frecuencia natural del hilo. La velocidad máxima del huso debe satisfacer que $n_{s,max} < 60 f_1$, donde f_1 es el valor más pequeño entre f_{s1} y f_{b1} . Cuanto menor sea el valor de f_1 , menor deberá ser la velocidad del huso.
5. Para aumentar la velocidad el huso o disminuir la probabilidad de roturas de cabos, deberá: 1) disminuirse el máximo de la altura del balón de hilo (h_{max}) y disminuir la longitud l del hilo hasta el guía-hilos. Por supuesto, una h_{max} demasiado pequeña disminuirá el tamaño de husada de una bobina; 2) hará que disminuya la banda de fluctuación de la tensión del hilo a fin de evitar un seno de tensión demasiado pequeño. El aumento correcto de la tensión del hilo es aprovechable para aminorar la rotura de cabos, siempre y cuando pueda controlarse la fluctuación de la tensión; y 3) disminuirá tanto como sea posible la irregularidad del espesor del hilo.
6. Existen más posibilidades en aumentar la husada en la bobina aumentando el diámetro de enrollado, que no aumentará la rotura de cabos por resonancia, que

no al aumentar la altura de la bobina. Naturalmente, el tamaño grande del anillo aumentará la velocidad del cursor y puede provocar la quema del cursor. A pesar de ello, un anillo giratorio puede resolver este problema.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Batra, S. K. Ghosh, T. K. y Zeidman, An Integrated Approach to Dynamic Analysis of the Ring Spinning Process, Part I: Without Air Drag and Coriolis Acceleration, Text. Res. J., 59, 309-317, (1989).
2. Batra, S. K. Gosh, T. K. y Zeidman, An Integrated Approach to Dynamic Analysis of the Ring Spinning Process, Part I: With Air Drag, Text. Res. J., 59, 416-424, (1989).
3. De Barr, A. E., y Catling, H., The Principles and Theory of Ring Spinning, The Textile Institute and Butterworths. Manchester & London (1965).
4. Li, D. Z. y Shen, R. F., Some Dynamical Characteristics of Yarn Tension During Ring Spinning, J. Text. Res. 1, 15, (1982).
5. Liu, J. y Raheel, M. Vibration Analysis of Yarn in Ring Spinning Process, Part I: Mathematical Model for Pigtail Region (pte. publicación).
6. Liu, J. y Raheel, M. Vibration Analysis of Yarn in Ring Spinning Process, Part II: Mathematical Model for Balloon Yarn (pte. publicación).
7. Liu, J. y Raheel, M. Vibration Analysis of Yarn in Ring Spinning Process, Part III: Mathematical Model for Wind-on Yarn (pte. publicación).
8. Nerli, G., Mechanical Behavior of Yarn in Certain Textile Manufacture, Textile Tech. (a) 56 (Dec. 1984), (b) 36 (Sept. 1985).
9. Oxtoby, E. Spun Yarn Technology, Butterworths, London (1987).
10. Porter, R. y Atanesby, J. D., The Case for Variable Speed Ring Spinning, J. Textile Inst., 34, 397-404, (1948).
11. Sabramanian, T. A., Salhotra, K. R. y Grover, J. M., The Distribution of End Breaks Over the Chase of a Cop-Buil Ringframe, Textile Res. J. 44, 791-797, (1974).
12. Tang, Wenhui y Liu, Rongcing, Analysis and Control of End Break on Ring Spinning Frame, Beijing, China (1986).

Trabajo recibido en 1991-03-19.

Aceptado en 1993-02-26.